

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D 08 DEC 2004

WIPO

PCT

DE 04/2226

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 46 410.7

Anmeldetag: 07. Oktober 2003

Anmelder/Inhaber: Dr. Martin T a n k, 69115 Heidelberg/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Bestimmung von patientenbezogenen
Informationen zur Position und Orientierung von
Schnittbildaufnahmen bei magnetresonanz-
tomographischen Untersuchungen

IPC: A 61 B 5/055

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. Oktober 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Schäfer

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

A 9161
08/00
EDV-L

BEST AVAILABLE COPY

Zusammenfassung

Zur Bestimmung von patientenbezogenen Informationen zur Position und Orientierung von Schnittbildaufnahmen bei magnetresonanztomographischen Untersuchungen wird ein Verfahren vorgeschlagen, dass durch initiale MR-Übersichtsaufnahmen des Patienten ein parametrisiertes anatomisches Körpermodell individualisiert und das aus der relativen Lage der nachfolgenden diagnostischen Schnittbildaufnahmen zu dem individualisierten Modell sowohl Orientierungsmarken als auch sprachliche Beschreibungen der Untersuchungsregionen ableitet. Die Modellparameter beschreiben vor allem die räumliche Lage sowie Form der wichtigsten Körperteile des Menschen. Vor der Individualisierung werden mit jedem Volumenelement des in Normalstellung befindlichen Modells Informationen über die dazugehörige Körperregion und räumliche Orientierung verknüpft. Der optimale Parametersatz für die Individualisierung wird durch das Minimum einer Abweichungsfunktion von Modell zu Zielstrukturen aus den initialen Übersichtsaufnahmen definiert. Durch die Individualisierung können dann patientenbezogene Informationen von Volumenelementen auf in unmittelbarer Nähe liegenden diagnostischen Schnittbildaufnahmen übertragen werden. Dadurch wird eine objektive und standardisierte Bestimmung von patientenbezogenen Informationen zur Position und Orientierung von Schnittbildaufnahmen erreicht.

Patentbeschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von patientenbezogenen Informationen zur Position und Orientierung von Schnittbildaufnahmen bei magnetresonanztomographischen Untersuchungen.

Bei der Untersuchung von Patienten mit Magnetresonanztomographiegeräten (MR-Geräten) muss die Lage des Patienten bei der Bildakquisition relativ zum MR-Gerät bekannt sein. Nur dann können zu den angefertigten Schnittbildaufnahmen (Aufnahmen) Informationen zu patientenbezogenen Positions- und Orientierungsangaben bestimmt werden, die in der Regel auf den Aufnahmen dargestellt werden. Diese Informationen ermöglichen die Rekonstruktion der räumlichen Lage der Aufnahmen bezüglich des Patienten auch nach der Untersuchung.

Es ist bekannt, dass in der radiologischen Diagnostik eine Normalstellung des Patienten bei der Bildgebung definiert ist. Dabei werden die drei senkrecht zueinander stehenden Hauptebenen des Körpers wie in der Anatomie als Transversal-, Sagittal- und Coronarebene bezeichnet (Sobotta 1993a), wobei die Schnittlinien der Hauptebenen die Achsrichtungen des Hauptkoordinatensystems des Patienten definieren.

Zur sprachlichen Beschreibung der patientenbezogenen Orientierung von beliebig ausgerichteten Aufnahmen werden in der Radiologie Buchstaben oder Buchstabenkombinationen (z.B. L für Left, P für Posterior, H für Head und LP für die Kombination aus Left und Posterior) verwendet (Siemens 2002a).

Durch diese Orientierungsmarken wird die Lage der die Aufnahmeebene aufspannenden Richtungsvektoren bezüglich eines Koordinatensystems beschrieben. Die genaue Orientierung eines Richtungsvektors kann natürlich auch durch zwei Winkelangaben bezüglich der Koordinatensystemachsen dokumentiert werden. Doch diese Winkelangaben sind für den Bediener nicht so schnell erfassbar wie eine Orientierungsmarke und somit für die tägliche Routine nicht bedeutend. Befindet sich der Patient in Normalstellung, so wird für die Bestimmung der Orientierungsmarken ein einheitliches Koordinatensystem verwendet, nämlich das Hauptkoordinatensystem des Patienten.

Bei den heute üblichen MR-Geräten wird der Patient durch eine horizontal fahrbare Patientenliege in das Gerät eingebracht und die Lage des Patienten wird durch den Bediener des MR-Gerätes beschrieben. Dabei wird in der Regel zwischen einer Kopf- und Fußlage, sowie zwischen einer Bauch-, Rücken-, Linksseiten-, und Rechtsseitenlage unterschieden (Siemens 2002b). Üblicherweise hat der Bediener zwischen den möglichen Patientenlagen aus einer

Auswahlliste zu wählen. Eine Beschreibung insbesondere der Armposition (am Körper oder über dem Kopf) findet in der Regel nicht statt. Die Steuerungssoftware des MR-Gerätes geht nach der Angabe der Patientenlage davon aus, dass sich der Patient in Normalstellung in der beschriebenen Lage befindet. Bei der Anfertigung einer Aufnahme wird dann deren Orientierung bezüglich des Hauptkoordinatensystems des Patienten dokumentiert. Dazu werden die beiden aufspannenden Richtungsvektoren der Aufnahmeebene durch Orientierungsmarken beschrieben und diese sprachlichen Bezeichnungen am Rand der Aufnahme grafisch dargestellt (Siemens 2002a).

Insbesondere bei Extremitätenaufnahmen (Arme und Beine) und bei symmetrischer Anatomie (z.B. Schädel) ist eine korrekte Bestimmung von Orientierungsmarken wichtig. Besonders fehleranfällig ist die Situation bei Untersuchungen der oberen Extremitäten. Diese können entlang der Körperlängsachse neben dem Körper gelagert werden oder in gleicher Richtung über dem Kopf, wobei noch eine zusätzliche Rotationsbewegung der Hände gegenüber dem Ellenbogengelenk möglich ist. Dies führt zu einer Vielzahl von Lagerungsmöglichkeiten und verdeutlicht das Problem der objektiven und standardisierten Beschreibung der Patientenlage, die eine wesentliche Voraussetzung für die korrekte Bestimmung von Orientierungsmarken ist.

Neben der richtigen Orientierungsbestimmung ist auch eine verlässliche Bezeichnung der Untersuchungsregion wichtig. Schließlich will man sich sicher sein, dass es sich z.B. bei der untersuchten Extremität um die linke oder rechte Extremität handelt.

Die Bestimmung der Untersuchungsregion ist in der Regel mit der Auswahl eines Messprogramms gekoppelt. Bei den heutigen MR-Geräten werden vom Hersteller eine Fülle von Messprogrammen mitgeliefert, die in der Regel hierarchisch geordnet sind (Siemens 2002c). Ein wichtiges Sortierkriterium ist die Zugehörigkeit zu einer anatomischen Region, da einige Messparameter für die entsprechende anatomische Region (Untersuchungsregion) optimiert sind. So können beispielsweise Messprogramme für Knieuntersuchungen in einem Ordner mit der Bezeichnung Knie zusammengefasst werden. Je nach diagnostischer Fragestellung (Meniskusläsion, Knorpelschaden,...) können dann die geeigneten Messprotokolle noch weiter sortiert werden. Zumindest ist in der Regel mit der Auswahl eines Messprogramms die Information über die dazugehörige Untersuchungsregion verknüpft und diese Information geht in die sprachliche Bezeichnung der angefertigten Aufnahmen ein. Diese Aufnahmen werden üblicherweise hierarchisch in einer Datenbank geordnet, wobei das Sortierkriterium für die oberste Ebene normalerweise der Patientennamen ist. In einer tieferen Ebene wird die Information über die Untersuchungsregion, die sich ja aus dem Namen des Messprogramms ergibt, als Sortierkriterium verwendet (Siemens 2002d). Bei einigen Fragestellungen ist mit diesem

Vorgehen keine eindeutige Bezeichnung der Untersuchungsregion möglich. Dies ist z.B. bei der Verwendung eines Messprogramms sowohl für das linke als auch für das rechte Knie der Fall. Zur eindeutigen Bezeichnung der Untersuchungsregion kann der Bediener noch ein Kommentar in die Steuerungssoftware eingeben (z.B. linkes Knie), welcher dann auf den gemessenen Aufnahmen grafisch dargestellt wird (Siemens 2002e).

Zur Kontrolle von durch den Bediener festgelegten Untersuchungsregionen, wie auch von Orientierungsmarken, ist eine Kenntnis der Patientenlage von entscheidender Bedeutung. Dann können aus den relativen Lagen der Aufnahmen zu dem Patienten diese Informationen überprüft werden. Eine objektivierete Bestimmung der Patientenlage ist auf verschiedene Arten möglich und nicht nur in der MR-Diagnostik von Bedeutung. Insbesondere sollen in der therapeutischen Strahlentherapie Patienten reproduzierbar positioniert und deren Lage überwacht werden. Neben der Positionierung mittels mechanischer Einrichtungen, wie Verschiebetisch und stereotaktischer Fixierung, sind mittlerweile optische Verfahren möglich (US-PS 5 080 100, US-PS 6 279 579, US-PS 5 823 192, Calow et al. 2002). Sie basieren auf optischen Messsystemen zur dreidimensionalen Oberflächenerfassung (Wahl 1984, Strutz 1993) oder verwenden Trackingsysteme zur dreidimensionalen Koordinatenerfassung (US-PS 6 138 302). Eine Übertragung auf die Situation bei MR-Untersuchungen ist aber in vielerlei Hinsicht problematisch. Zur Beschreibung der Patientenlage müsste die Körperoberfläche des Patienten vermessen werden, was einen fast vollständig entkleideten Patienten erfordert. Dies kann in der täglichen Routine nicht vorausgesetzt werden. Zusätzlich ist eine optische Vermessung des Patienten im MR-Gerät durch die typische röhrenförmige Bauweise erheblich erschwert.

Eine andere Möglichkeit der Dokumentation der Patientenlage ist die Rekonstruktion der Körperoberfläche des Patienten aus einem Volumendatensatz. Die beiden US-Patentschriften US-PS 4 821 213 und US-PS 4 719 585 beschreiben die Rekonstruktion von Oberflächen aus Volumendatensätzen, wozu auch die Körperoberfläche zählt. Doch die Messung von Volumendatensätzen des gesamten Patienten zur Erfassung der Patientenlage ist aufgrund der hohen Anzahl anzufertigender Aufnahmen viel zu aufwendig.

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein Verfahren anzugeben, das eine standardisierte und objektive Beschreibung der patientenbezogenen Position und Orientierung von Aufnahmen bei einer magnetresonanztomographischen Untersuchung ermöglicht.

Dabei sind die Qualitätsansprüche an solche Informationen kaum zu hoch anzusetzen. So hätte eine falsche Richtungsbezeichnung bei einer Schädelaufnahme mit einem diagnostizierten

Gehirntumor für die Operationsplanung fatale Folgen. Der operative Zugang könnte dann falsch gewählt werden.

Allein eine falsche Beschreibung der Patientenlage durch den Bediener kann bei dem heute üblichen Vorgehen zu falschen Orientierungsmarken führen. Natürlich ist dies auch durch eine Lagerung des Patienten möglich, die nicht der Normalstellung entspricht. Es kann auch vorkommen, dass sich aus einer falschen Beschreibung der Patientenlage in Kombination mit einer von der Normalstellung abweichenden Lagerung des Patienten wieder richtige Orientierungsmarken ergeben.

Auch das übliche Vorgehen zur Bestimmung von Untersuchungsregionen beinhaltet mehrere Fehlerquellen. Die Hersteller von MR-Geräten geben dem Bediener die Freiheit über die Sortierung und die sprachliche Bezeichnung von Messprogrammen. Es müssen keine sinnvollen sprachlichen Bezeichnungen von Messprogrammen verwendet werden. Somit können auch unsinnige sprachliche Bezeichnungen von Untersuchungsregionen vorkommen. Ebenso ist die Verwendung von Kommentaren eine mögliche Fehlerquelle. Der Bediener muss ja beispielsweise nur das linke mit dem rechten Knie verwechseln und schon sind in allen gemessenen Aufnahmen fehlerhafte Bildkommentare dargestellt. Die Kombination mit einer falschen Angabe der Patientenlage verschärft diese Situation noch. Dann ist die richtige patientenbezogene Rekonstruktion der Position und Orientierung einer gemessenen Aufnahme eventuell nicht mehr möglich.

Erfindungsgemäß wird zur Bestimmung von patientenbezogenen Informationen zur Position und Orientierung von Schnittbildaufnahmen bei magnetresonanztomographischen Untersuchungen ein Verfahren vorgeschlagen, dadurch gekennzeichnet, dass durch initiale MR-Übersichtsaufnahmen des Patienten ein parametrisiertes anatomisches Körpermodell individualisiert wird und aus der relativen Lage der nachfolgenden diagnostischen Schnittbildaufnahmen zu dem individualisierten Modell patientenbezogene Informationen zur Position und Orientierung der Schnittbildaufnahmen bestimmt werden. Dabei entspricht der Individualisierungsvorgang einem mathematischen Optimierungsproblem. Es werden diejenigen Modellparameter bestimmt, die ein Abweichungsmaß des Modells zu Strukturen aus den initialen MR-Übersichtsaufnahmen (Übersichtsaufnahmen) minimieren. Durch den Individualisierungsvorgang können Informationen vom Modell auf nachfolgende diagnostische Aufnahmen übertragen werden. Insbesondere ist eine Verknüpfung von Informationen mit dem in Normalstellung befindlichen Modell (Normmodell) möglich, welche neben der Körperregion auch die Orientierung von jedem Teil des Normmodells beschreiben. Nach dem

Individualisierungsvorgang kann dann aus der relativen Lage einer Aufnahme zu den in unmittelbarer Nachbarschaft befindlichen Teilen des individualisierten Modells sowohl Informationen in Textform zur Position der Aufnahme als auch Informationen in Form von Orientierungsmarken zur Orientierung der Aufnahme bestimmt werden. Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass sich patientenbezogene Informationen zur Position und Orientierung von Schnittbildaufnahmen bei magnetresonanztomographischen Untersuchungen objektiv und standardisiert bestimmen lassen. Dies betrifft insbesondere die automatische Generierung von Orientierungsmarken und Textangaben zur Untersuchungsregion. Dadurch wird eine Unabhängigkeit bei der Bestimmung der beschriebenen Informationen vom Bediener des MR-Gerätes erreicht, was unmittelbar zu einer Qualitätssteigerung der ärztlichen Diagnose führt.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die initialen MR-Übersichtsaufnahmen in standardisierter Anordnung angefertigt werden. Dabei können schnelle MR-Sequenzen verwendet werden, die sich durch eine Akquisitionszeit pro Übersichtsaufnahme im Sekundenbereich auszeichnen. Der mit der Ausgestaltung der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, dass für jeden Patienten ein einheitliches Untersuchungsprotokoll zur Gewinnung der Übersichtsaufnahmen verwendet werden kann. Eine manuelle Anpassung an die individuelle Patientengeometrie ist nicht notwendig. Außerdem wird der Individualisierungsalgorithmus mit einer einheitlichen Datengrundlage gestartet, was die Stabilität der Ergebnisse erhöht.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die initialen MR-Übersichtsaufnahmen Querschnittsaufnahmen sind. Zur Individualisierung eines Ganzkörpermodells bieten sich Querschnittsaufnahmen an, da dann eine vollständige Abbildung der Körperoberfläche in jeder Querschnittsaufnahme möglich ist. Bei Aufnahmen entlang der Körperlängsachse ist dies im Allgemeinen nicht der Fall. Der mit der Ausgestaltung der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, dass eine vollständige Rekonstruktion der Körperoberfläche des Patienten in jeder Querschnittsaufnahme möglich ist und dass diese Informationen die Stabilität des Individualisierungsalgorithmus erhöhen.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Positionen und Orientierungen von zusätzlich anzufertigen MR-Übersichtsaufnahmen bei nicht ausreichender Qualität der Individualisierung durch den Individualisierungsalgorithmus automatisch bestimmt werden. Dabei findet eine Quantifizierung der Qualität durch eine Berechnung eines Abweichungsmaßes des Modells zu Strukturen aus den Übersichtsaufnahmen statt. Je mehr Übersichtsaufnahmen angefertigt werden, desto leichter kann das

Individualisierungsproblem aufgrund der verbesserten Datengrundlage gelöst werden. Dem steht aber die erhöhte Messzeit für die Übersichtsaufnahmen gegenüber. Deshalb muss man in der Praxis einen Kompromiss zwischen Stabilität und Zeitaufwand finden. Sofern die Qualität der Individualisierung, welche ja durch das Abweichungsmaß gekennzeichnet ist, nicht ausreicht, können an geeigneter Stelle weitere Übersichtsaufnahmen angefertigt werden. Die Positionen und Orientierungen der zusätzlichen Übersichtsaufnahmen können vom Individualisierungsalgorithmus aus der Analyse der Modellabweichung zu Strukturen in den einzelnen Übersichtsaufnahmen und der jeweils abgebildeten Körperregion bestimmt werden. Eine Erfassung der Handgeometrie mit den Fingerstellungen erfordert beispielsweise eine höhere räumliche Dichte von Übersichtsaufnahmen als die Erfassung der Rumpfgeometrie. Der mit der Ausgestaltung der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, dass bei nicht ausreichender Qualität der Individualisierung solange durch ein automatisch ablaufendes Verfahren zusätzliche Übersichtsaufnahmen angefertigt werden, bis eine ausreichende Qualität der Individualisierung erreicht ist.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Modellparameter sowohl die Translation, Rotation und Skalierung des gesamten Modells als auch die räumliche Lage und Form der wichtigsten Körperteile beschreiben. Die Anzahl von Parametern zur Beschreibung der menschlichen Anatomie hängt vor allem von der geforderten Genauigkeit der Modellierung ab. Um Informationen über die Position und Orientierung von Aufnahmen bei MR-Untersuchungen zu erhalten, ist eine genaue Modellierung von im Körperinneren liegenden anatomischen Strukturen von untergeordneter Bedeutung. Vielmehr ist eine Modellierung der Bewegungsmöglichkeiten von wesentlichen Körperteilen und deren Oberfläche relevant. Der mit der Ausgestaltung der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, dass durch die Parametrisierung der Lage und Form der wesentlichen Körperteile eine ausreichende aber nicht zu detaillierte Modellierung der menschlichen Anatomie erreicht wird.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass aus den Parametern des individualisierten Modells eine sprachliche Bezeichnung der Patientenlage bestimmt wird (z.B. Kopf oder Füße voran; Rücken-, Bauch-, Linksseiten-, Rechtsseitenlage). Von besonderer Bedeutung sind hierbei die drei grundlegenden Modellparameter zur Beschreibung der Rotationen um die drei Hauptachsen. Aus diesen Parametern und den weiteren Modellparametern kann auf die sprachliche Bezeichnung der Patientenlage im MR-Gerät geschlossen werden. Der Unterschied zwischen der Lage mit dem Kopf voran und der Lage mit den Füßen voran besteht in einem um 180° unterschiedlichen Rotationswinkel um die

Sagittalachse. Die Rücken-, Bauch-, Linksseiten- und Rechtsseitenlage wird vor allem durch den Rotationswinkel um die Longitudinalachse unterschieden. Der mit der Ausgestaltung der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, dass durch die Parameter des individualisierten Modells eine sprachliche Bezeichnung der Patientenlage objektiv und standardisiert bestimmt werden kann.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe der Parameter des individualisierten Modells eine durch den Bediener eingegebene Beschreibung der Patientenlage kontrolliert wird. Sofern die durch den Individualisierungsalgorithmus möglichen sprachlichen Bezeichnungen der Patientenlage mit den Auswahlmöglichkeiten der Patientenlagebeschreibung durch den Bediener übereinstimmen, dann kann die durch den Bediener eingegebene Beschreibung der Patientenlage automatisch kontrolliert werden. Der mit der Ausgestaltung der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, dass durch die Kontrolle der Patientenlagebeschreibung durch den Individualisierungsalgorithmus eine Qualitätssteigerung der Untersuchung erreicht wird.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die patientenbezogenen Informationen über die Position und Orientierung von Schnittbildaufnahmen in sprachliche und/oder grafische Form kodiert werden und diese mit dem individualisierten Modell dargestellt werden. Normalerweise werden patientenbezogene Informationen über die Position und Orientierung von Schnittbildern in den einzelnen Aufnahmen dargestellt (Textangaben und Orientierungsmarken). Zur besseren Übersicht kann man aber auch die einzelnen Aufnahmen in ihrer Position und Orientierung dreidimensional mit dem individualisierten Körpermodell darstellen. Der mit der Ausgestaltung der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, dass durch dieses Verfahren neben der Patientenposition auch die Lage der Aufnahmen bezüglich des Patienten auf eine einfache und eingehende Weise grafisch dargestellt wird.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe des individualisierten Körpermodells ein durch den Bediener eingegebenes Körpergewicht kontrolliert wird. Das Körpergewicht des Patienten ist insbesondere zur Berechnung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) bei magnetresonanztomographischen Untersuchungen wichtig. Aus dem individualisierten Modell kann das Volumen des Patienten abgeschätzt werden und daraus das Körpergewicht. Der mit der Ausgestaltung der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, dass durch die Kontrolle des Körpergewichts durch den Individualisierungsalgorithmus eine Qualitätssteigerung der Untersuchung erreicht wird. Insbesondere werden die SAR-Grenzwerte verlässlicher eingehalten.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe des individualisierten Modells eine Positionierung des Patienten im MR-Gerät zur Untersuchung einer gewünschten Region durchgeführt wird. Das Verfahren zur Bestimmung von Informationen zur Position von Aufnahmen wird bei dieser Fragestellung umgekehrt. Gegeben ist dann eine Untersuchungsregion und gesucht ist eine geeignete Ausgangsposition für nachfolgende Aufnahmen. Dazu werden für die gewünschte Untersuchungsregion diejenigen Teile des individualisierten Modells bestimmt, mit denen die gewünschte Region verknüpft ist. Aus der räumlichen Lage dieser Teile wird eine Tischverschiebung berechnet, welche die Untersuchungsregion in das Magnetfeldzentrum bringt. Dieses Vorgehen ermöglicht eine automatische Positionierung des Patienten je nach gewünschter Untersuchungsregion. Der mit der Ausgestaltung der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, dass die zeitaufwendige manuelle Positionierung der zu untersuchenden Region, welche in der Regel mit Laserlichtvisieren durchgeführt wird, entfällt.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass das individualisierte Modell einer MR-Untersuchung abgespeichert und zur Einnahme der gleichen Patientenlage bei einer MR-Verlaufsuntersuchung verwendet wird. Bei einer Verlaufsuntersuchung ist die Einnahme der gleichen Patientenlage von entscheidender Bedeutung. Insbesondere sind die Gelenkstellungen und die Form der Weichteile von der Lagerung abhängig. Durch den Vergleich des individualisierten Modells bei der Verlaufsuntersuchung mit dem abgespeicherten individualisierten Modell der vorhergehenden Untersuchung ist nicht nur ein qualitativer Vergleich möglich. Es kann auch ein Abweichungsmaß beider Modelle berechnet und dieses zur Einnahme der gleichen Patientenlage verwendet werden. Der mit der Ausgestaltung der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, dass durch die Einnahme einer möglichst gleichen Patientenlage bei einer MR-Verlaufsuntersuchung eine Qualitätssteigerung der Untersuchung erreicht wird.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass bei einem fehlerhaften Ablauf und/oder bei Beendigung eines oder aller Verfahrensschritte ein Signal abgegeben wird. Der mit der Ausgestaltung der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, dass durch die Benachrichtigung des Bedieners durch ein Signal bei automatisch ablaufenden Verfahrensschritten sich der Bediener anderen Aufgaben widmen kann. Dies erhöht den Workflow bei der Untersuchung.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung Fig. 1 dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben. Die nachfolgende Beschreibung der Erfindungsausführung hat nur

beispielhaften Charakter und die dabei aufgeführten Merkmale sind in dieser Form nicht zwingend zur Realisierung der Erfindung notwendig. Ein mögliches Ausführungsbeispiel besteht aus folgenden Schritten:

- a.) Anfertigung von mehreren initialen MR-Übersichtsaufnahmen des Patienten
- b.) Individualisierung eines parametrisierten anatomischen Körpermodells auf der Basis der angefertigten initialen MR-Übersichtsaufnahmen
- c.) Bei nicht ausreichender Qualität der Individualisierung werden zusätzliche MR-Übersichtsaufnahmen angefertigt und das Individualisierungsverfahren erneut durchgeführt.
- d.) Grafische Darstellung des individualisierten Modells zur Verfahrenskontrolle
- e.) Bei nicht ausreichender Beschreibung der Patientenlage durch das individualisierte Modell wird das Verfahren durch den Bediener abgebrochen
- f.) Anfertigung von diagnostischen MR-Aufnahmen
- g.) Bestimmung von Informationen zur Position und Orientierung von MR-Aufnahmen aus der relativen Lage zum individualisierten Modell

Zur Modellindividualisierung bieten sich Querschnittsaufnahmen in standardisierter Anordnung als initiale Übersichtsaufnahmen an, da dann eine zusammenhängende Rekonstruktion der Körperoberfläche in den einzelnen Querschnittsaufnahmen möglich ist. Dazu kann man ein einfaches Schwellenwertverfahren verwenden, wobei der Sprung in den Signalintensitäten von Luft zu Haut die Körperoberfläche definiert. Durch die mittlerweile großen geometrischen Messbereiche der MR-Geräte kann man in der Regel davon ausgehen, dass bei der Messung vollständige Querschnitte des Patienten erfasst werden. Dies führt zu einer zusammenhängenden Rekonstruktion der Körperoberfläche in den einzelnen Querschnittsaufnahmen, die sich mathematisch in der Beschreibung der Körperoberfläche durch geschlossene Linienzüge ausdrückt. Diese bilden die Zielstrukturen bei der Individualisierung.

Neben den Zielstrukturen benötigt man für den Individualisierungsvorgang noch ein geeignetes Modell, wobei dessen Parameter nicht eindeutig bestimmt sind. Nur die grundlegenden Parameter für die elementaren Transformationen wie Translation, Rotation und Skalierung sind offensichtlich. Hingegen hängt die Art und Anzahl der die Modellgeometrie beschreibenden Parametern vor allem vom Verwendungszweck ab. Um Informationen über die Position und Orientierung von Aufnahmen bei MR-Untersuchungen zu erhalten ist vor allem eine Modellierung der Bewegungsmöglichkeiten von wesentlichen Körperteilen und deren Oberfläche relevant. Dabei bietet sich ein Aufbau des Modells aus einer Vielzahl von zusammenhängenden Volumenelementen (Finite Element Modell, Koch et al. 1996 oder

Voxelmodell, Höhne et al. 1992) an, wobei deren Abmessungen im Zentimeterbereich liegen und die Modellgeometrie durch einen Parametersatz bestimmt wird.

Ganz einfache Modelle können beispielsweise nur durch ein paar Parameter beschrieben werden, wie: Körpergröße, Armlänge, Beinlänge, Brustumfang, Bauchumfang und den Parametern zur Beschreibung der Arm-, sowie Beinposition. Dem stehen komplexe Modelle mit einer großen Parameteranzahl gegenüber. Dabei wird nicht nur die Körperoberfläche modelliert, sondern mitunter auch das Skelettsystem. So wird die Geometrie des menschlichen Beckens beispielsweise durch folgende Parameter beschrieben (Sobotta 1993b): Distantia cristarum, Distantia spinarum, Diameter spinarum posterior, Diameter transversa der Beckenweite, Diameter transversa der Beckenenge, Diameter transversa des Beckenausgangs, Diameter sagittalis der Beckenweite, Diameter sagittalis der Beckenenge, Diameter sagittalis des Beckenausgangs, Conjugata anatomica, Conjugata diagonalis, Conjugata vera. Um Informationen über die Position und Orientierung von Aufnahmen bei MR-Untersuchungen zu erhalten ist solch eine genaue Modellierung aber nicht erforderlich. Je nach gewünschter Genauigkeit ist eine Modellierung der wesentlichen Körperteile ausreichend. Dabei wird die Lage der Körperteile vor allem durch die Freiheitsgrade der anatomischen Gelenke beschrieben. Zur Beschreibung des Hüftgelenkes (Kugelgelenk) sind beispielsweise drei Parameter erforderlich (Streckung und Beugung, Abspreizung und Heranführung, Innenrotation und Außenrotation). Die Form des Oberschenkels kann beispielsweise durch jeweils zwei senkrecht aufeinander stehenden Durchmesser am Anfang, der Mitte und am Ende des Oberschenkels parametrisiert werden. Ähnlich kann man auch mit den anderen Körperteilen verfahren: Kopf, Hals, Brust, Bauch, Becken, Schultergürtel, Oberarm, Unterarm, Hand, Unterschenkel, Fuß. Dabei sollten die Bewegungsmöglichkeiten der großen Gelenke des menschlichen Körpers parametrisiert werden. Die relevanten Gelenke sind: Unteres und oberes Sprunggelenk, Kniegelenk, Hüftgelenk, Schultergelenk, Ellenbogengelenk, Handgelenk. Eine Sonderstellung nimmt die Wirbelsäule ein. Sie besteht ja aus einer Vielzahl von Gelenken zwischen den einzelnen Wirbelkörpern und die Bewegungsmöglichkeiten sind im Detail nur aufwendig parametrisierbar. Für die Beschreibung der Patientenlage ist aber eine Unterteilung der Wirbelsäule in die Hals-, Brust- sowie Lendenwirbelsäule mit vereinfachten Bewegungsmöglichkeiten ausreichend. Nur bei recht selten vorkommenden Untersuchungen der Finger ist noch eine zusätzliche Parametrisierung der Bewegungsmöglichkeiten der Fingergelenke notwendig. Natürlich ist der Wertebereich der einzelnen Parameter eingeschränkt. Es sind nur solche Parameterkombinationen erlaubt, die eine anatomisch mögliche Lage des

Patienten beschreiben. Die zur Normalstellung des Modells (Normmodell) gehörenden Parameter werden auch als Normalparameter bezeichnet.

Mit den beschriebenen Zielstrukturen in den einzelnen Übersichtsaufnahmen und dem Modell kann jetzt der Individualisierungsalgorithmus gestartet werden. Ziel ist dabei die Bestimmung eines Parametersatzes, der die Abweichung des Modells zu den Zielstrukturen auf den Übersichtsaufnahmen minimiert. Als Ergebnis erhält man das individualisierte Modell mit dem individualisierten Parametersatz. Die Abweichung des Modells zu den Zielstrukturen wird durch eine Abweichungsfunktion beschrieben, wobei die Argumente der Abweichungsfunktion die Modellparameter sind. Mathematisch liegt ein nichtlineares Optimierungsproblem vor, nämlich die Frage nach dem Minimum der Abweichungsfunktion. Jede erlaubte Parameterkombination führt zu einem aus Volumenelementen aufgebauten Modell mit spezifischer Geometrie. Eine mögliche Abweichungsfunktion kann dann über die Abweichungswerte der Oberflächenelemente des Modells definiert werden. Dabei bietet sich die Berechnung der Abweichung als gewichtete Summe der Quadrate der Abweichungswerte von den einzelnen Oberflächenelementen an. Der Wichtungsfaktor eines Oberflächenelements ist das Verhältnis des Flächeninhaltes des Oberflächenelements zum Mittelwert der Flächeninhalte aller Oberflächenelemente. Dieser Weg der Abweichungsberechnung über die Verwendung der Modelloberfläche ist sinnvoll, da die Zielstrukturen Teile der Körperoberfläche des Patienten sind. Als Abweichungswert eines Oberflächenelements wird der minimale geometrische Abstand zu den Zielstrukturen definiert, sofern das Oberflächenelement eine Übersichtsaufnahme geometrisch schneidet. Ansonsten ist der Abweichungswert nicht definiert. Dies ist sinnvoll, da beispielsweise für ein in der Mitte zwischen zwei Übersichtsaufnahmen liegendes Oberflächenelement sowieso keine Information über den Abstand zur Körperoberfläche des Patienten vorliegt. Somit geht je nach Lage des Modells eine unterschiedliche Anzahl von Oberflächenelementen in die Abweichungsberechnung ein. Um aus diesen Werten für unterschiedliche Parameter dennoch vergleichbare Abweichungen berechnen zu können, ist eine Abweichungsnormierung durch den Flächeninhalt aller in die Berechnung einbezogenen Oberflächenelemente notwendig. Der optimale Parametersatz zur Minimierung der Abweichung kann dann über herkömmliche Suchweg- oder Rasterverfahren bestimmt werden (Schaback 1992).

Die Qualität der Individualisierung wird durch den Wert der berechneten Abweichung quantifiziert. Liegt dieser unter einem vorgegebenen Grenzwert, dann wurde die Individualisierung erfolgreich durchgeführt. Wenn nicht, dann werden zur Steigerung der Anpassungsqualität an Stellen mit den größten Abweichungswerten von Oberflächenelementen

weitere Übersichtsaufnahmen angefertigt. Die Körperoberfläche des Patienten wird also an den durch den Individualisierungsalgorithmus bestimmten kritischen Bereichen exakter vermessen. Dieses Vorgehen wird solange iterativ durchlaufen bis eine ausreichend exakte Beschreibung der Patientenlage durch das Modell erreicht ist, oder es wird bei nicht ausreichendem Konvergenzverhalten nach einer gewissen Iterationsanzahl abgebrochen.

Die dreidimensionale grafische Darstellung des individualisierten Modells ermöglicht dem Bediener eine Kontrolle der Individualisierung durch den Vergleich mit der tatsächlichen Patientenlage. Beim Auftreten von relevanten Abweichungen kann der Bediener das Verfahren abbrechen und konventionell weiterarbeiten.

Bei erfolgreicher Individualisierung kann aus der relativen Lage der nachfolgenden diagnostischen Aufnahmen zu dem individualisierten Modell patientenbezogene Informationen zur Position und Orientierung der Aufnahmen bestimmt werden. Dazu werden vor der Individualisierung mit jedem Volumenelement des Normmodells Informationen verknüpft. Diese Informationen beschreiben mitunter die Körperregion und Orientierung jedes Volumenelements. So werden beispielsweise mit allen Volumenelementen des Normmodells die das rechte Knie bilden, die Information „rechtes Knie“ in Textform verknüpft. Nach dem Individualisierungsvorgang kann dann aus der relativen Lage einer Aufnahme zu den dazugehörigen Volumenelementen des individualisierten Modells eine Information in Textform zur Position der Aufnahme gewonnen werden. Schneidet beispielsweise die Aufnahme nur Volumenelemente mit der verknüpften Information „rechtes Knie“, dann kann als Untersuchungsregion der Aufnahme auch „rechtes Knie“ angegeben werden. Die Information zur Körperregion wurde vom individualisierten Modell auf die Aufnahme übertragen und bezeichnet dort die Untersuchungsregion. Ähnlich verhält es sich mit Orientierungsmarken. Die Orientierung eines Volumenelements wird durch ein lokales Koordinatensystem beschrieben, wobei in Normalstellung alle lokalen Koordinatensysteme mit dem Hauptkoordinatensystem übereinstimmen. Nach der Individualisierung stimmen diese dann in der Regel nicht mehr überein. Wird beispielsweise der Patient mit den Armen über dem Kopf gelagert, dann beschreiben nach der Individualisierung die lokalen Koordinatensysteme bei den Volumenelementen der Hand die lokalen Orientierungsachsen und unterscheiden sich von den lokalen Orientierungsachsen am Rumpf. Bildet dann eine Aufnahme die Hand des Patienten ab, dann kann aus der relativen Lage der Aufnahme zu den entsprechenden Volumenelementen der Hand Informationen zur Orientierung der Aufnahme gewonnen werden. Die Orientierungsmarken der Aufnahme beziehen sich dann lokal auf die Hand und nicht mehr auf ein einheitliches Koordinatensystem für den gesamten Patienten.

Als Nebenprodukt lässt sich aus den Parametern des individualisierten Modells auch eine sprachliche Bezeichnung der Patientenlage gewinnen (z.B. Kopf oder Füße voran; Rücken-, Bauch-, Linksseiten-, Rechtsseitenlage), wobei die drei Parametern zur Beschreibung der Rotation um die drei Hauptachsen eine herausragende Bedeutung haben. Beispielsweise unterscheidet sich die Rücken-, Bauch-, Linksseiten- und Rechtsseitenlage vor allem durch den Rotationswinkel um die Longitudinalachse. Die Lagerung der Arme wird hingegen hauptsächlich durch die Parameter zur Beschreibung des Schulter- sowie Ellenbogengelenks beschrieben. Jedem Parametersatz kann eine sprachliche Bezeichnung der Patientenlage zugeordnet werden. In der Praxis wird man für eine endliche Anzahl von Parametersätzen eine sprachliche Bezeichnung der Patientenlage in tabellarischer Form definieren. Für einen beliebigen Parametersatz wird dann der am besten entsprechende Parametersatz aus der Tabelle mit zugehöriger sprachlicher Bezeichnung der Patientenlage bestimmt und in Textform dem Bediener angezeigt. Die Patientenlagebeschreibung in Textform ermöglicht auch eine einfache Kontrolle der durch den Bediener ausgewählten Beschreibung der Patientenlage, sofern in beiden Fällen der gleiche Fundus von sprachlichen Bezeichnungen verwendet wurde.

Normalerweise werden patientenbezogene Informationen über die Position und Orientierung von Aufnahmen in diesen grafisch dargestellt (Textangaben und Orientierungsmarken). Neben dieser zweidimensionalen Darstellungsform bietet sich eine dreidimensionale Visualisierung der einzelnen Aufnahmen mit dem individualisierten Modell an. Dazu kann man verschiedene 3D-Darstellungstechniken verwenden. Für Echtzeitvisualisierungen bieten sich hardwarebeschleunigte Verfahren auf Dreiecksbasis (SSD-Verfahren, Surface Shaded Display, z.B. OpenGL, Woo et al. 1999) an. Diese Visualisierungstechnik ermöglicht ein interaktives Betrachten der Szenerie in Echtzeit und besitzt dennoch eine ausreichende Darstellungsqualität. Eine einfache sowie intuitive Darstellung der wesentlichen Informationen erreicht man durch gleichzeitige Visualisierung der triangulierten Modelloberfläche mit den angefertigten Aufnahmen in ihrer dreidimensionalen Position und Orientierung, wobei auch die Textangaben und Orientierungsmarken mit abgebildet werden.

Neben den Informationen zur Position und Orientierung von Aufnahmen können aus dem individualisierten Modell auch noch weitere Information entnommen werden. Recht einfach ist dabei die Abschätzung des Körpergewichts des Patienten. Jedem Volumenelement des Modells wird vor der Individualisierung eine Dichte zugeordnet. Nach der Individualisierung wird aus dieser Information und dem Volumen des Volumenelements dessen Gewicht berechnet. Die Summe der Gewichte der einzelnen Volumenelemente ergibt dann den Schätzwert des Patientengewichtes.

Andere Informationen ermöglichen eine automatische Positionierung des Patienten zur Untersuchung einer gewünschten Körperregion im MR-Gerät. Dieses Verfahren nutzt die mit jedem Volumenelement verknüpfte Information über die dazugehörige Körperregion. Dazu werden für die gewünschte Untersuchungsregion diejenigen Volumenelemente des individualisierten Modells bestimmt, mit denen die sprachliche Bezeichnung der Region verknüpft ist. Der geometrische Mittelpunkt dieser Volumenelemente definiert das Zentrum der Untersuchungsregion und wird durch eine dann definierte Tischverschiebung in das Magnetfeldzentrum gebracht. Beispielsweise möchte man bei einem Patienten das rechte Knie untersuchen. Nach der Individualisierung sind die Positionen von Volumenelementen mit der verknüpften Information „rechtes Knie“ bekannt. Der Mittelpunkt dieser Volumenelemente definiert dann die Position zur Untersuchung des Knies. Die Tischverschiebung ergibt sich als Differenz zwischen Magnetfeldzentrum und dem berechneten Mittelpunkt.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit von individualisierten Modellen besteht in der Einnahme der gleichen Patientenlage bei Verlaufsuntersuchungen. Dazu werden die Modellparameter von der Referenzuntersuchung abgespeichert und bei einer Verlaufsuntersuchung wieder eingelesen. Diese Parameter definieren dann das Referenzmodell. Zur Einnahme der gleichen Patientenlage wird das individualisierte Modell der Verlaufsuntersuchung (Verlaufsmodell) mit dem Referenzmodell verglichen. Das Ziel ist eine Abweichungsminimierung der beiden Modelle. Dazu wird jedem Oberflächenelement des Verlaufsmodells ein Abweichungswert zugeordnet, wobei dieser als geometrische Distanz zum korrespondierenden Oberflächenelement des Referenzmodells definiert ist. Die Abweichung wird als Summe der Quadrate der Abweichungswerte definiert. Die Patientenlage wird bei der Verlaufsuntersuchung solange verändert, bis das jeweils neu bestimmte Verlaufsmodell eine ausreichende Übereinstimmung mit dem Referenzmodell zeigt. Dazu ist eine gleichzeitige dreidimensionale Darstellung der beiden Modelle mit einer farblichen Kodierung der Abweichungswerte hilfreich.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von patientenbezogenen Informationen zur Position und Orientierung von Schnittbildaufnahmen bei magnetresonanztomographischen Untersuchungen, dadurch gekennzeichnet, dass durch initiale MR-Übersichtsaufnahmen des Patienten ein parametrisiertes anatomisches Körpermodell individualisiert wird und aus der relativen Lage der nachfolgenden diagnostischen Schnittbildaufnahmen zu dem individualisierten Modell patientenbezogene Informationen zur Position und Orientierung der Schnittbildaufnahmen bestimmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die initialen MR-Übersichtsaufnahmen in standardisierter Anordnung angefertigt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die initialen MR-Übersichtsaufnahmen Querschnittsaufnahmen sind.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Positionen und Orientierungen von zusätzlich anzufertigen MR-Übersichtsaufnahmen bei nicht ausreichender Qualität der Individualisierung durch den Individualisierungsalgorithmus automatisch bestimmt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Modellparameter sowohl die Translation, Rotation und Skalierung des gesamten Modells als auch die räumliche Lage und Form der wichtigsten Körperteile beschreiben.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei aus den Parametern des individualisierten Modells eine sprachliche Bezeichnung der Patientenlage bestimmt wird (z.B. Kopf oder Füße voran; Rücken-, Bauch-, Linksseiten-, Rechtsseitenlage).
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei mit Hilfe der Parameter des individualisierten Modells eine durch den Bediener eingegebene Beschreibung der Patientenlage kontrolliert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die patientenbezogenen Informationen über die Position und Orientierung von Schnittbildaufnahmen in sprachliche und/oder grafische Form kodiert werden und diese mit dem individualisierten Modell dargestellt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei mit Hilfe des individualisierten Modells ein durch den Bediener eingegebenes Körpergewicht kontrolliert wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei mit Hilfe des individualisierten Modells eine Positionierung des Patienten im MR-Gerät zur Untersuchung einer gewünschten Region durchgeführt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das individualisierte Modell einer MR-Untersuchung abgespeichert und zur Einnahme der gleichen Untersuchungsposition bei einer MR-Verlaufsuntersuchung verwendet wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei bei einem fehlerhaften Ablauf und/oder bei Beendigung eines oder aller Verfahrensschritte ein Signal abgegeben wird.

Zeichnungen

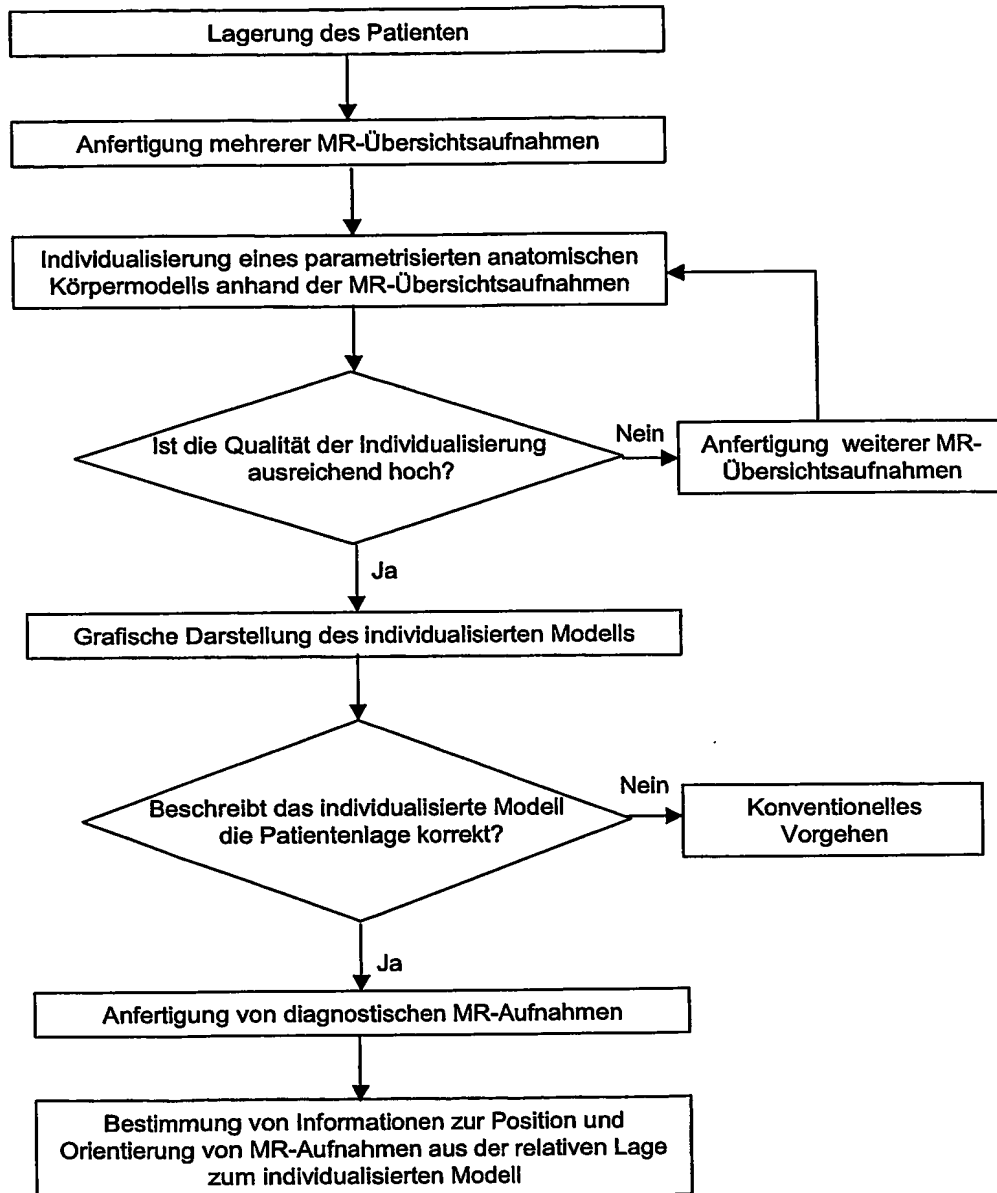


Fig. 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.